

Материал к лекции можно просмотреть и скачать на сайте кафедры:
<http://k301.info> в разделе Дисциплины / Теория автоматического управления

Специальности:	<ul style="list-style-type: none"> • Авионика • Компьютеризованные системы управления и автоматики • Системы аэронавигационного обслуживания
Дисциплина:	Теория автоматического управления
Курс, семестр, уч. год:	4, весенний, 2018/2019
Кафедра:	301 – СУЛА
Руководитель обучения:	Профессор, д.т.н. Кулик Анатолий Степанович

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЛЕКЦИИ № 8

ТЕМА: КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА



Добра желаешь, добро и делай!



СОЛОДОВНИКОВ

Владимир Викторович

(1910-1991)

**Заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
 Лауреат Государственной премии СССР,
 академик РАЕН, доктор технических наук,
 профессор, крупнейший специалист в области
 технической кибернетики,
 один из основателей отечественной автоматики**

«Мой учитель профессор В.В. Солодовников — очень крупный ученый, основатель частотных методов в теории управления, автор широко известных методов в теории управления, автор широко известных за рубежом трудов — баллотировался в Академию наук много раз, еще когда я был его аспирантом, и все безуспешно».

Академик Е.А. Федосов

«Частотный подход, пионерами которого в СССР выступили А.В. Михайлов и В.В. Солодовников, позволил вдвое повысить порядок доступных для инженерного исследования уравнений и сулил вывести из тупика классическую теорию регулирования».

Академик А.А. Воронов

«... мы все учились по учебникам Солодовникова»

Ле-Пелетье, гл. инженер французской фирмы «Томсон-CSF»

В.В. Солодовников — один из основоположников технической кибернетики

В 2010 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Владимира Викторовича Солодовникова, доктора технических наук, профессора, выдающегося советского ученого, имеющего мировую известность, крупнейшего специалиста в области автоматики и процессов управления.

После окончания в 1934 г. Ленинградского физико-механического института В.В. Солодовников работал во Всесоюзном электротехническом институте им. В.И. Ленина, где в 1939 г. защитил кандидатскую диссертацию. С 1946 по 1956 гг. он заведовал лабораторией в Институте автоматики и телемеханики (ИАТ) АН СССР (ныне институт проблем управления РАН), где в 1948 г. защитил докторскую диссертацию (научный консультант диссертации — организатор и первый директор ИАТ, академик В.С. Кулебакин, официальные оппоненты — академики Н.Н. Боголюбов и А.Ю. Ишлинский). В этом же году он основал и сорок лет беспрерывно возглавлял в МВТУ им. Н.Э. Баумана кафедру «Системы автоматического управления». В 1956г. Он организовал и затем до 1960 г. осуществлял научное руководство Центральным научно-исследовательским институтом комплексной автоматизации.

В.В. Солодовников является одним из основоположников технической кибернетики, основателем советской частотной научной школы в области автоматического управления. За почти 60-летний период своей научной деятельности он выполнил фундаментальные исследования по теории автоматического управления и регулирования, которые изложены в 27 монографиях и учебных пособиях, 20 из которых переведены и изданы в США, Великобритании, Франции, Германии, Польше, Болгарии и др. Его перу принадлежит первая в мировой научно-технической литературе монография, посвященная статистическому анализу и оптимизации систем автоматического управления (1952г.), перевод которой в США осуществил «отец» теории нечетких множеств Заде (L. Zadeh).

В 1954 г. под руководством В. В. Солодовникова издан знаменитый «зеленый кирпич» - капитальный коллективный труд "Основы автоматического регулирования", объемом 1117 с., авторами которого явилась элита отечественной автоматики (17 ведущих отечественных специалистов в области автоматического регулирования). Затем в 1967 — 1969 гг. под его редакцией вышла уникальная семитомная серия инженерных монографии "Техническая кибернетика", удостоенная Государственной премии СССР. Наконец, под его редакцией изданы 14 выпусков широко известного сборника "Автоматическое управление и вычислительная техника".

В.В. Солодовниковым подготовлено более 100 кандидатов и 19 докторов наук, многие из которых стали известными учеными, инженерами и крупными организаторами науки и техники.

Его работы внесли значительный вклад в развитие Следующих Ключевых Направлений В области автоматического и автоматизированного управления:

- идентификация динамических систем;
- аналитические самонастраивающиеся автоматические системы;
- нестационарные системы автоматического управления;
- статистический анализ и оптимизация автоматических систем;
- автоматизация производственных процессов.

В число его основных научных достижений входят:

- концепция качества автоматических систем;
- частотные методы анализа и синтеза автоматических систем;
- методы статистической динамики автоматических систем;
- принцип сложности в теории автоматических систем.

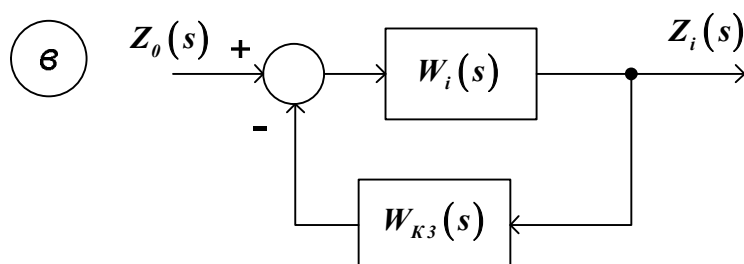
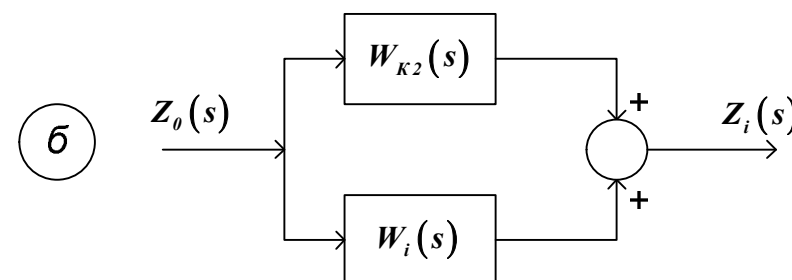
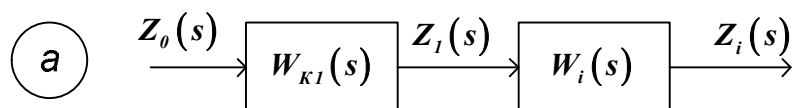
Созданная В.В. Солодовниковым научная школа успешно продолжает исследования актуальных вопросов современной теории автоматически систем.

Из статьи Филимонова Н.Б. «Проблема качества процессов управления: смена оптимизационной парадигмы» //Мехатроника, автоматизация, управление, №12,2010, с.2-10.

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Корректирующие устройства предназначены для изменения структуры и параметров САП с целью обеспечения требуемых запасов устойчивости и показателей её качества.

Корректирующие устройства представляют собой динамические звенья различной физической природы со специально выбранными передаточными функциями. Эти устройства могут включаться в автоматическую систему тремя основными способами:



Использование того или иного способа включения определяется удобством технической реализации. В линейных системах для корректирующего устройства одного типа можно подобрать эквивалентное по своему действию корректирующее устройство другого типа из такого соотношения:

$$W_{K1}(s) \cdot W_i(s) = W_{K2}(s) + W_i(s) = \frac{W_i(s)}{1 + W_{K3}(s)}$$

Например, $W_{K1}(s) = \frac{W_{K2}(s) + W_i(s)}{W_i(s)}$.



Частотные характеристики, построенные в логарифмических шкалах, называются логарифмическими частотными характеристиками.

Логарифмические шкалы по одной или обеим осям могут использоваться при построении любых частотных характеристик. Чаще всего строятся характеристики $L(\lg \omega)$, $\varphi(\lg \omega)$, называемые соответственно логарифмической амплитудно-частотной характеристикой (ЛАЧХ) и логарифмической фазо-частотной характеристикой (ЛФЧХ).

При построении логарифмических характеристик на шкале частот вместо ω откладывается $lg \omega$. Единицами измерения логарифмических координат является декада (дек) и децибел (дБ).

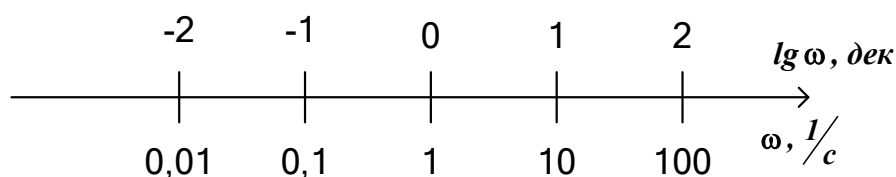


Логарифм – величина безразмерная и указанные «единицы измерения» вводятся условно для удобства.



Декадой называется интервал частот, соответствующий изменению частоты в 10 раз.

На логарифмической шкале декада, изображенная отрезком единичной длины, так как $lg 10 - lg 1 = 1$. Поэтому относительно величины $lg \omega$ логарифмическая шкала является равномерной, а относительно частоты ω - неравномерной.



Единица измерения децибел взята из акустики. Относительное сравнение звуков – это отношение интенсивностей звуков. Если интенсивность одного звука в 10 раз больше интенсивности другого, то говорят, что уровень этого звука на одну единицу выше уровня другого звука. Эта единица уровня звука названа белом в честь Александра Грехема Белла – изобретателя телефона.

Порог слышимости величиной $10^{-6} \frac{мкВт}{м^2}$ принят за 0 бел. При увеличении интенсивности в 10 раз уровень звуков в белах возрастает на одну единицу. Такая шкала была выбрана потому, что наблюдения указывают на пропорциональность громкости звука, ощущаемого ухом, логарифму физической интенсивности. Бел является большой единицей, поэтому часто пользуются меньшей единицей – децибелом (0,1 бела). Изменение звука на 1 децибел (дБ) – это примерно наименьшее изменение, которое может обнаружить нормальное ухо.

II. СИНТЕЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Синтез корректирующих устройств производится с использованием логарифмических амплитудно-частотных характеристик – ЛАЧХ.

Синтез состоит из пяти этапов:

1) построение ЛАЧХ исходной нескорректированной системы – располагаемой ЛАЧХ;

2) построение желаемой ЛАЧХ;

3) определение структуры и параметров последовательного корректирующего устройства;

4) техническая реализация последовательного корректирующего устройства;

5) построение переходного процесса скорректированной системы.

Рассмотрим суть каждого этапа:

1) построение располагаемой ЛАЧХ. Передаточная функция разомкнутой системы представляется в форме произведения передаточных функций элементарных звеньев, для которых определяются соответствующие частоты сопряжения. Построение начинается с низкочастотного участка или с низкочастотной асимптоты, положение которой определяется коэффициентом передачи разомкнутой системы; далее строятся асимптотические характеристики всех звеньев передаточной функции.

2) построение желаемой ЛАЧХ. Желаемую ЛАЧХ строят по участкам, на основании требований к показателям качества переходного процесса и запасам устойчивости. Низкочастотный участок строится исходя из условий обеспечения заданной точности функционирования системы в установившихся режимах. Для систем позиционирования – низкочастотный участок – это асимптота, проходящая через точку $20 \lg k$ на оси ординат с наклоном к оси частот $-\nu \cdot 20 \text{ дб/дек}$, где k – коэффициент передачи разомкнутой системы; ν – порядок астатизма разомкнутой системы. Ось ординат проводится через точку $\omega = 1/c$ оси частот.

Среднечастотный участок желаемой ЛАЧХ строится на основании заданных времени переходного процесса $t_{\text{пр}}$ и перерегулирования $\sigma, \%$. Для определения точки пересечения среднечастотной асимптоты с осью частот – частоты среза $\omega_{\text{ср}}$

пользуются номограммой, связывающей перерегулирование $\sigma, \%$, максимальное время перехода процесса $t_{\text{III max}}$ и максимальное значение вещественной частотной характеристики замкнутой системы P_{max} . Эта номограмма позволяет по заданной величине $\sigma, \%$ определить P_{max} и далее по кривой $t_{\text{III max}}$ и заданном t_{III} найти частоту среза ω_{cp} разомкнутой системы:

$$t_{\text{III}} = \frac{K\pi}{\omega_{\text{cp}}} \longrightarrow \omega_{\text{cp}} = \frac{K\pi}{t_{\text{III}}}$$



Номограмма (от греч. νομος – закон и γραμμα – черта, буква, изображение) – чертеж для изображения функциональной зависимости (формула, уравнение, система уравнений), позволяющий получить ответ или ответы по заданным значениям переменных без вычислений и исследовать функциональную зависимость

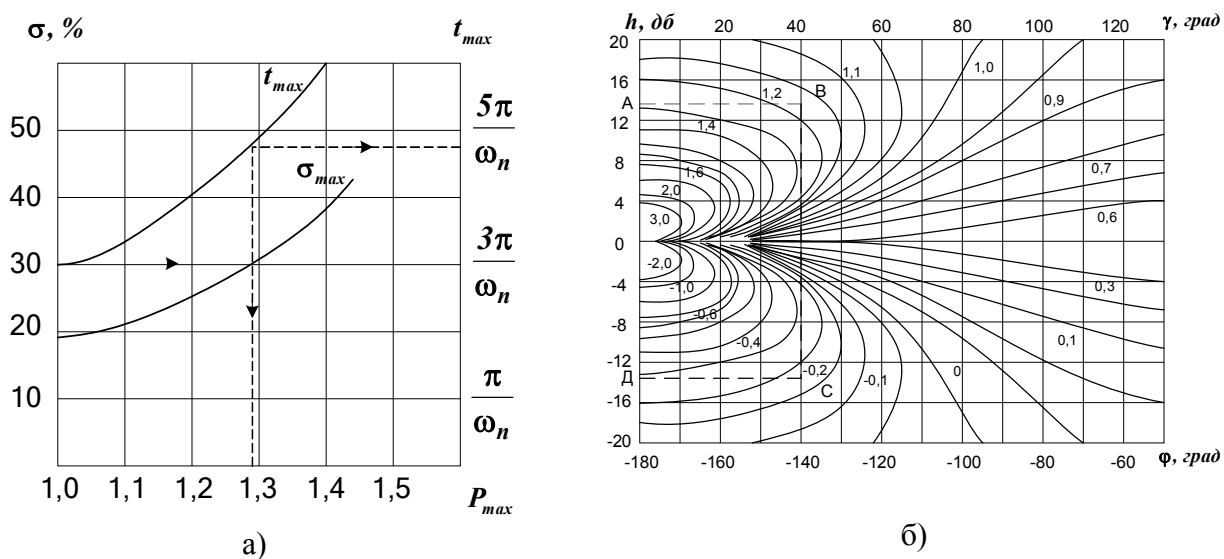


Рис.8.1. Номограмма, служащая для определения:
а – частоты среза; б – запасов по модулю и фазе

На рисунке 8.1,а для заданного $\sigma = 30\%$ показана последовательность определения $t_{\text{III max}}$. Для заданного $t_{\text{III}} = 0,6 \text{ с}$ получим $\omega_{\text{cp}} = 23,8 \frac{1}{\text{с}}$. Через точку, соответствующую значению ω_{cp} , проводится асимптота под наклоном $-20 \frac{\text{дб}}{\text{дек}}$.

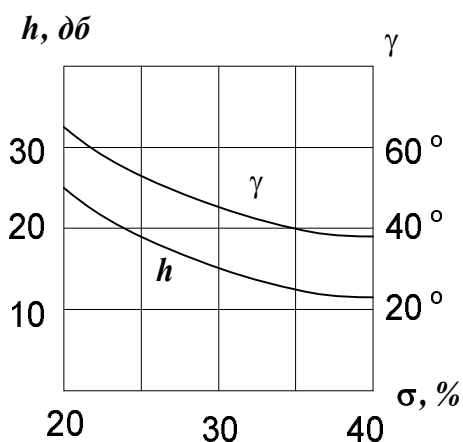


Рис. 8.2 Номограмма, служащая для определения запасов по модулю и фазе

Среднечастотный участок сопрягается с низкочастотным с помощью прямой линии, проводимой под наклоном, отличающимся от наклона среднечастотного участка на 20 дБ/дек .

После этого проверяют действительный запас по фазе для желаемой ЛАЧХ на участке сопряжения.

Высокочастотный участок желаемой ЛАЧХ ограничивается частотой $\omega_k \leq (6 \div 10)\omega_{cp}$ и может иметь любой наклон. Этот участок не

влияет существенно на переходный процесс.

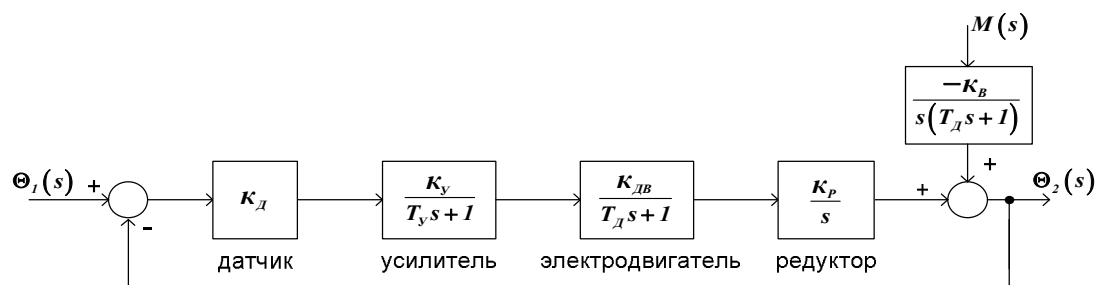
Сопряжение высокочастотного и среднечастотного участков желаемой ЛАЧХ выполняется таким образом, чтобы получить отрезок с наклоном на 20 дБ/дек больше, чем наклон среднечастотного участка. После этого проверяют действительный запас по фазе на участке сопряжения желаемой ЛАЧХ.

3) определение структуры и параметров корректирующего устройства связано с необходимостью построения ЛАЧХ последовательного корректирующего устройства путём графического вычисления из желаемой ЛАЧХ располагаемой. Затем с помощью ЛАЧХ для типовых корректирующих элементов аппроксимируют полученную ЛАЧХ корректирующего устройства. Исходя из частот сопряжения, аналитических соотношений, связывающих параметры корректирующих устройств с частотами сопряжения, определяют конкретные значения параметров корректирующих устройств.

4) техническая реализация корректирующих устройств состоит в выборе стандартных значений параметров элементов корректирующих устройств, в определении места включения корректирующего устройства, согласовании корректирующего устройства с функциональными элементами САП.

5) построение переходного процесса скорректированной системы осуществляется на основании передаточной функции скорректированной системы по традиционной методике. По характеристике переходного процесса определяются полученные показатели качества и сравниваются с заданными. При выявлении существенных различий необходимо вернуться на соответствующие предыдущие этапы синтеза.

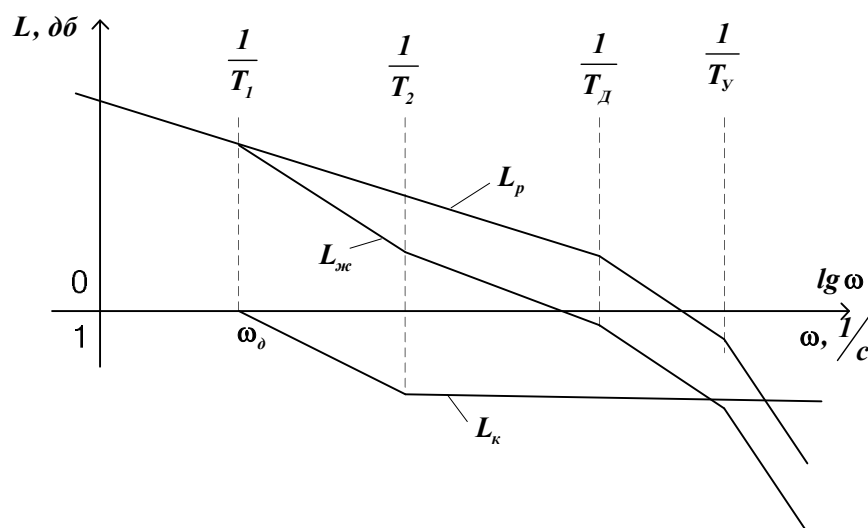
Рассмотрим особенности коррекции на примере простейшей системы позиционирования – следящей системы, представленной следующей структурной схемой:



Передаточная функция разомкнутой системы описывается таким соотношением:

$$W(s) = \frac{\Theta_2(s)}{\Theta_1(s)} = \frac{K_D K_Y K_{ДВ} K_P}{s(T_Y s + 1)(T_Д s + 1)} = \frac{K}{s(T_Y s + 1)(T_Д s + 1)}.$$

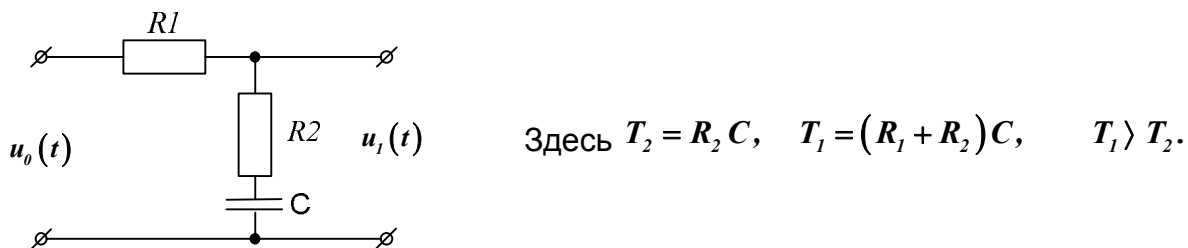
Если требования к быстродействию не очень высоки, то запретная зона по точности для ЛАЧХ располагается в области сравнительно низких частот (ω_0 – мало). В этом случае взаимное расположение располагаемой L_p и желаемой $L_{жс}$ ЛАЧХ показано на следующем рисунке.



Разностная ЛАЧХ $L_\kappa = L_{жс} - L_p$ – соответствует ЛАЧХ замедляющего последовательного

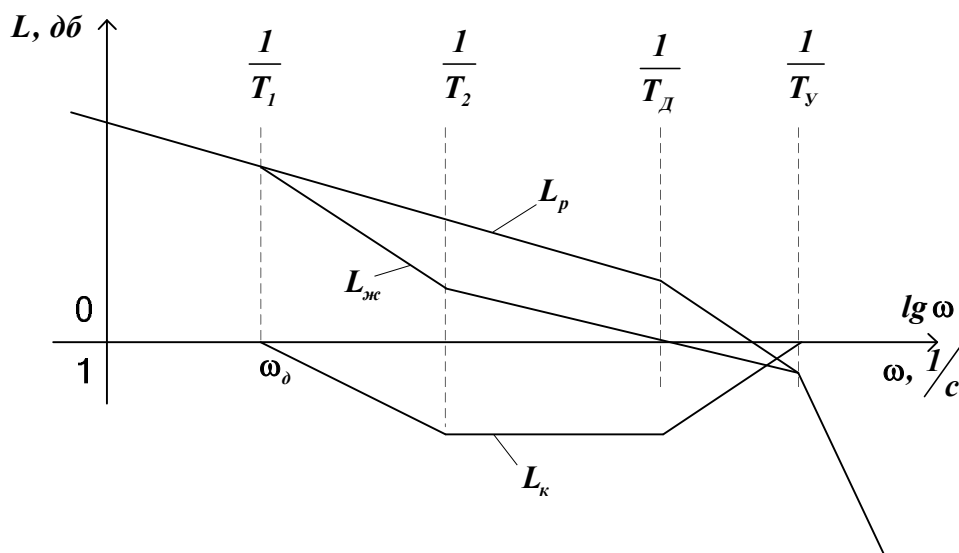
звена, имеющего передаточную функцию $W_\kappa(s) = \frac{Z_1(s)}{Z_0(s)} = \frac{T_2 s + 1}{T_1 s + 1} = \frac{U_1(s)}{U_0(s)}$.

Электрическая схема пассивного корректирующего устройства интегрирующего типа соответствующего L_κ имеет вид:



В результате коррекции замедляющим – пассивным интегрирующим звеном всегда деформируется низкочастотная часть ЛАЧХ. При этом происходит уменьшение усиления на низких частотах, т.е. осуществляется амплитудная коррекция САП.

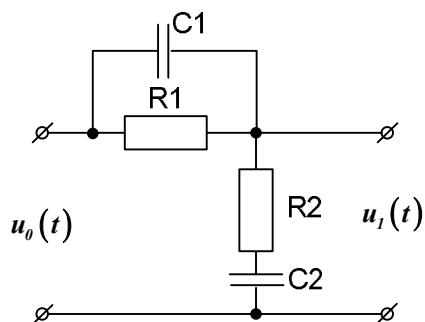
Разностная ЛАЧХ $L_k = L_{\text{жс}} - L_p$ соответствует интегро-дифференциальному звену, если значение частоты ω_0 увеличивается.



Передаточная функция интегро-дифференцирующего звена

$$W_k(s) = \frac{Z_1(s)}{Z_0(s)} = \frac{(T_1 s + 1)(T_d s + 1)}{(T_2 s + 1)(T_y s + 1)} = \frac{U_1(s)}{U_0(s)}$$

Электрическая схема пассивного корректирующего устройства интегро-дифференцирующего типа соответствующего L_k имеет вид, представленный на рисунке.



Здесь $T_2 = R_1 C_1$; $T_d = R_2 C_2$;

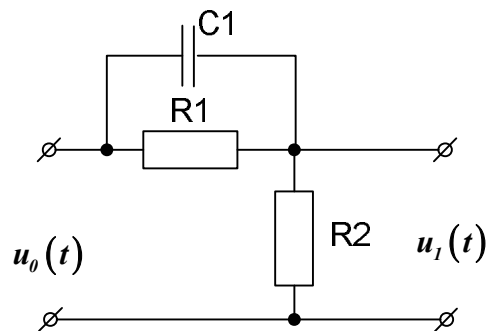
$$T_1 + T_y = T_2 + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) T_d$$

В результате коррекции деформируется среднечастотная часть ЛАЧХ и происходит амплитудное подавление на средних частотах, т.е. имеет место также амплитудная коррекция.

При ещё большем увеличении ω_0 разностная ЛАЧХ $L_{\kappa} = L_p - L_{\text{жс}}$ будет соответствовать последовательному включению форсирующего (пассивного дифференцирующего) звена с передаточной функцией

$$W_{\kappa}(s) = \frac{Z_1(s)}{Z_0(s)} = \frac{T}{\tau} \frac{\tau s + 1}{Ts + 1} = \frac{U_1(s)}{U_0(s)}.$$

Электрическая схема пассивного корректирующего устройства форсирующего (дифференцирующего) типа имеет вид:



$$\text{Здесь } \tau = R_1 C; \quad T = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2}, \quad \tau \gg T.$$

При такой коррекции также происходит деформация ЛАЧХ, но только в среднечастотной и высокочастотной областях. Наибольший положительный эффект связан с деформацией фазовой характеристики, которая получает дополнительный фазовый сдвиг в среднечастотной области, определяющей в основном запас устойчивости замкнутой системы. Поэтому здесь происходит фазовая коррекция САП путем создания фазового опережения на средних частотах.

Пожалуйста, постройте располагаемую ЛАЧХ для лабораторной разомкнутой системы позиционирования! Попытайтесь её скорректировать.



Каков есть, такова и честь